

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2003 年 10 月 16 日 (16.10.2003)

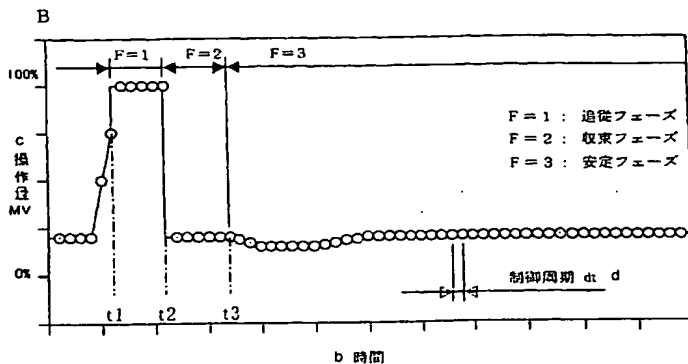
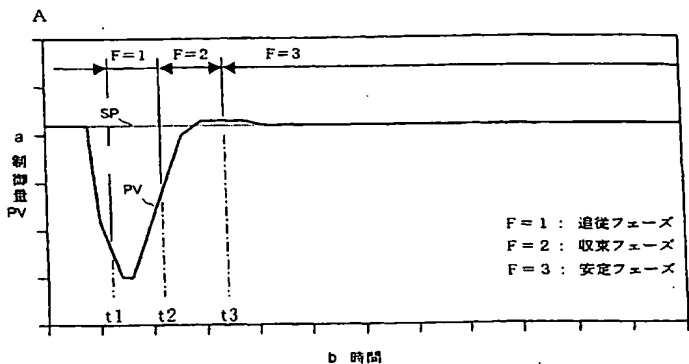
PCT

(10) 国際公開番号  
WO 03/085462 A1

- (51) 国際特許分類<sup>7</sup>: G05B 7/02, 11/36 (72) 発明者: および  
(21) 国際出願番号: PCT/JP03/04347 (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 田中 雅人  
(TANAKA, Masato) [JP/JP]; 〒150-8316 東京都 渋谷区  
(22) 国際出願日: 2003 年 4 月 4 日 (04.04.2003) (74) 代理人: 山川 政樹 (YAMAKAWA, Masaki); 〒100-0014  
(25) 国際出願の言語: 日本語 東京都 千代田区 永田町 2 丁目 4 番 2 号 秀和溜池ビ  
(26) 国際公開の言語: 日本語 ル 8 階 山川国際特許事務所内 Tokyo (JP).  
(30) 優先権データ: 特願 2002-104057 2002 年 4 月 5 日 (05.04.2002) JP (81) 指定国 (国内): CN, KR, US.  
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式 添付公開書類:  
会社 山武 (YAMATAKE CORPORATION) [JP/JP]; 〒 国際調査報告書  
150-8316 東京都 渋谷区 渋谷 2 丁目 1 2 番 1 9 号  
Tokyo (JP). 2 文字コード及び他の略語については、定期発行される  
各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語  
のガイダンスノート」を参照。

(54) Title: FEEDBACK CONTROL METHOD AND FEEDBACK CONTROL DEVICE

(54) 発明の名称: フィードバック制御方法及びフィードバック制御装置



a...CONTROL AMOUNT PV  
b...TIME  
c...OPERATION AMOUNT MV  
d...CONTROL PERIOD dt

F=1...FOLLOW-UP PHASE  
F=2...CONVERGENCE PHASE  
F=3...STABLE PHASE

(57) Abstract: A response process of disturbance recovery control is divided into a follow-up phase, a convergence phase, and a stable phase. A feedback control device includes a first phase selector (3) for switching to the follow-up phase, a second phase selector (4) for switching to the convergence phase, a third phase selector (5) for switching to the stable phase, a first operation amount decision unit (6) for outputting an operation amount to make the control amount follow up a set value in the follow-up phase, a second operation amount decision unit (7) for outputting an operation amount to make the control amount converge in the vicinity of a set value in the convergence phase, and a third operation amount decision unit (8) for outputting an operation amount to make the control amount stable at a set value in the stable phase.

(57) 要約: 外乱リカバリー制御の応答過程を追従フェーズと収束フェーズと安定フェーズに分ける。フィードバック制御装置は、追従フェーズへ切り換える第1のフェーズ切換部(3)と、収束フェーズへ切り換える第2のフェーズ切換部(4)と、安定フェーズへ切り換える第3のフェーズ切換部(5)と、追従フェーズにおいて制御量を設定値に追従させる操作量を出力する第1の操作量決定部(6)と、収束フェーズにおいて制御量を設定値近傍に収束させる操作量を出力する第2の操作量決定部(7)と、安定フェーズにおいて制御量を設定値に安定させる操作量を出力する第3の操作量決定部(8)とを備える。

WO 03/085462 A1

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## 明 細 書

## フィードバック制御方法及びフィードバック制御装置

## 発明の背景

本発明は、プロセス制御技術に係り、特に外乱印加時に制御量が設定値へ復帰するように制御対象に操作量を与えて外乱リカバリー制御を行うフィードバック制御方法及びフィードバック制御装置に関するものである。

従来より、実用性の高い汎用制御理論としてP I D制御が知られている。また、現代制御理論のような高度な制御理論として、例えば単純適応制御S A C (Simple Adaptive Control) が知られている。どちらの制御理論も、外乱印加時に設定値S Pへと制御量P Vが復帰するように、操作量M Vを制御演算結果として制御対象に出力するものであり、制御量P Vを計測し設定値S Pとの偏差E rに基づき制御演算を行なうものである。

通常のP I D制御は、線形制御理論であり、制御対象を含めた制御系が線形系になることを前提にした制御理論である。ただし、実際の制御対象は厳密な線形性を有するものではなく、P I D制御にしても若干の非線形性は許容できる。しかし、半導体製造装置に利用されるR T P (Rapid Thermal Process) のハロゲンランプによる加熱などは、P I D制御が単純には通用しない非線形性の強い系である。この場合、制御系の安定性を追求するだけであればP I D制御でも対応できるが、R T Pなどのように高速度な昇温とオーバーシュートの少ない応答波形が要求される条件では、P I D制御は対応できない。

例えば、制御系の非線形特性が図14のような特性Kで近似できる場合、降温外乱印加時に、高速昇温により制御量P Vを設定値S Pに復帰（高速外乱リカバリー）させようとする、設定値S Pと制御量P Vとの偏差E rが大きい時点では操作量M V（加熱出力）が100%になり、平均的なプロセスゲイン特性は図14のK a v 1に示される大きな傾きの特性になる。ところが、昇温が進んで偏差E rが小さくなるにつれて、例えば操作量M Vは20%程度に降下してくる。

こうなると平均的なプロセスゲイン特性は同じく図14の $K_a v^2$ に示される別の小さな傾きの特性になる。

PIDコントローラのPIDパラメータを高速外乱リカバリーという仕様に合わせて調整し、このPIDコントローラを図14のような強非線形系に対し適用すると、昇温軌道（外乱リカバリー波形）は図15のPVのようになる。すなわち、応答前半においては、プロセスゲインが大き過ぎる制御対象を制御するようなオーバーシュートが制御量PVに発生し、応答後半においては、プロセスゲインが小さ過ぎる制御対象を制御するような制御量PVの設定値SPへの追従が極端に遅いという制御動作が発生する。結果的に、図15のような昇温軌道になるが、半導体製造装置のようにオーバーシュートの少ない応答波形が要求される制御対象としては、適切な制御が行なわれたことにはならない。また、PIDパラメータの調整も、線形制御理論の範囲外なので極めて難しい。

一方、単純適応制御SACなどの高度な適応制御理論は、制御対象のプロセスゲイン特性の変動に対し、常に適切な制御特性が得られるように制御演算部の内部パラメータが自動修正されるように設計されている。しかし、内部パラメータの自動修正（適応動作）が適切に動作するためには、過渡状態において十分な制御演算回数が必要になる。高速外乱リカバリーの場合、昇温に要する所要時間として1.0～1.5sec程度が要求されるため、制御周期が50msecの場合、外乱リカバリー中の制御演算回数は20～30回程度になる。

このような条件で強非線形特性に起因するプロセスゲイン変化に追従するために与えられる制御演算回数は、図16Bに示すようにせいぜい2～3回程度になり、適応動作が機能するためには全く論外に制御演算回数が不足することになる。すなわち、実用レベルで考えると、高度な適応制御理論に基づく手法では、最終的に制御の安定性が得られる程度であり、強非線形特性の制御対象をきれいに高速外乱リカバリーさせることはできない。また実質的には、高速外乱リカバリーに限らず、安定性を確保することだけが目的の技術である。さらに、適応動作を適切に動作させるために予め設定すべき多くのパラメータについて、その設定に関する実用水準の指針がない。

以上のように、従来のPID制御理論では、非線形性の強い系を制御対象とす

る場合、適切な外乱リカバリー制御が実現できず、またPIDパラメータの調整も困難になるという問題点があった。

また、単純適応制御SACなどの高度な適応制御理論では、強非線形特性の制御対象について制御量を設定値に高速に復帰させようとする、適応動作を機能させるための制御演算回数が不足するため、適切な外乱リカバリー制御が実現できず、またパラメータの調整も困難になるという問題点があった。

### 発明の概要

本発明は、上記課題を解決するためになされたもので、非線形性の強い系を制御対象とする場合でも、適切な外乱リカバリー制御が実現でき、適切な外乱リカバリー制御を行うためのパラメータ調整が容易なフィードバック制御方法及びフィードバック制御装置を提供することを目的とする。

本発明は、外乱印加時に制御量が設定値へ復帰するように制御対象に操作量を与えて外乱リカバリー制御を行うフィードバック制御方法において、外乱リカバリー制御の応答過程を追従フェーズと収束フェーズと安定フェーズの3段階に分割するステップと、外乱印加検知時点を前記追従フェーズの開始時点として前記追従フェーズへの切り換えを行う第1のフェーズ切換ステップと、前記追従フェーズにおいて制御量を設定値に追従させる操作量を継続的に出力する追従フェーズの操作量決定ステップと、前記追従フェーズにおいて制御量が設定値を超えない特定の外乱リカバリー制御経過時点を前記収束フェーズの開始時点として前記収束フェーズへの切り換えを行う第2のフェーズ切換ステップと、前記収束フェーズにおいて制御量を設定値近傍に収束させる操作量を継続的に出力する収束フェーズの操作量決定ステップと、前記収束フェーズにおいて予め設定された状況に到達した時点を前記安定フェーズの開始時点として前記安定フェーズへの切り換えを行う第3のフェーズ切換ステップと、前記安定フェーズにおいて制御量を設定値に安定させる操作量を継続的に出力する安定フェーズの操作量決定ステップとを備えるものである。

また、本発明のフィードバック制御方法の1構成例において、前記第1のフェーズ切換ステップは、設定値と制御量との偏差に基づいて外乱が印加されたこと

を確認した時点の前記追従フェーズの開始時点とするステップを備えるものである。

また、本発明のフィードバック制御方法の1構成例において、前記第1のフェーズ切換ステップは、外乱印加を通知する外部からのフェーズ切換信号が入力された時点の前記追従フェーズの開始時点とするステップを備えるものである。

また、本発明のフィードバック制御方法の1構成例において、前記第2のフェーズ切換ステップは、前記追従フェーズにおいて現在の制御量から設定値に達するまでの時間である到達残り時間の予測値を、設定値と制御量との偏差及び制御量の変化率に基づいて計算するステップと、計算した到達残り時間予測値が予め設定された時間指標よりも小さくなった時点の前記収束フェーズの開始時点とするステップとを備えるものである。

また、本発明のフィードバック制御方法の1構成例において、前記第3のフェーズ切換ステップは、前記収束フェーズの開始時点から、予め設定された時間指標が経過した時点の前記安定フェーズの開始時点とするステップを備えるものである。

また、本発明のフィードバック制御方法の1構成例において、前記追従フェーズの操作量決定ステップは、予め設定された操作量を継続的に出力するステップを備えるものである。

また、本発明のフィードバック制御方法の1構成例において、前記収束フェーズの操作量決定ステップは、予め設定された操作量を継続的に出力するステップを備えるものである。

また、本発明は、外乱リカバリー制御の応答過程を追従フェーズと収束フェーズと安定フェーズの3段階に分割し、外乱印加時に制御量が設定値へ復帰するように制御対象に操作量を与えて前記外乱リカバリー制御を行うフィードバック制御装置であって、外乱印加検知時点の前記追従フェーズの開始時点として前記追従フェーズへの切り換えを行う第1のフェーズ切換部と、前記追従フェーズにおいて制御量が設定値を超えない特定の外乱リカバリー制御経過時点の前記収束フェーズの開始時点として前記収束フェーズへの切り換えを行う第2のフェーズ切換部と、前記収束フェーズにおいて予め設定された状況に到達した時点の前記安

定フェーズの開始時点として前記安定フェーズへの切り換えを行う第3のフェーズ切換部と、前記追従フェーズにおいて制御量を設定値に追従させる操作量を継続的に出力する第1の操作量決定部と、前記収束フェーズにおいて制御量を設定値近傍に収束させる操作量を継続的に出力する第2の操作量決定部と、前記安定フェーズにおいて制御量を設定値に安定させる操作量を継続的に出力する第3の操作量決定部とを備えるものである。

また、本発明のフィードバック制御装置の1構成例において、前記第1のフェーズ切換部は、設定値と制御量との偏差に基づいて外乱が印加されたことを確認した時点を前記追従フェーズの開始時点とするものである。

また、本発明のフィードバック制御装置の1構成例において、前記第1のフェーズ切換部は、外乱印加を通知する外部からのフェーズ切換信号が入力された時点を前記追従フェーズの開始時点とするものである。

また、本発明のフィードバック制御装置の1構成例において、前記第2のフェーズ切換部は、前記追従フェーズにおいて現在の制御量から設定値に達するまでの時間である到達残り時間の予測値を、設定値と制御量との偏差及び制御量の変化率に基づいて計算し、計算した到達残り時間予測値が予め設定された時間指標よりも小さくなった時点を前記収束フェーズの開始時点とするものである。

また、本発明のフィードバック制御装置の1構成例において、前記第3のフェーズ切換部は、前記収束フェーズの開始時点から、予め設定された時間指標が経過した時点を前記安定フェーズの開始時点とするものである。

また、本発明のフィードバック制御装置の1構成例において、前記第1の操作量決定部は、予め設定された操作量を継続的に出力するものである。

また、本発明のフィードバック制御装置の1構成例において、前記第2の操作量決定部は、予め設定された操作量を継続的に出力するものである。

#### 図面の簡単な説明

図1Aおよび図1Bは、本発明における追従フェーズ、収束フェーズ及び安定フェーズを説明するための波形図である。

図2は、本発明の第1実施例となるフィードバック制御装置の構成を示すブロ

ック図である。

図 3 は、図 2 のフィードバック制御装置の動作を示すフローチャート図である。

図 4 は、安定フェーズから追従フェーズへの切り換え及び追従フェーズから収束フェーズへの切り換えを説明するための波形図である。

図 5 は、安定フェーズから追従フェーズへの切り換え及び追従フェーズから収束フェーズへの切り換えを説明するための波形図である。

図 6 は、収束フェーズから安定フェーズへの切り換えを説明するための波形図である。

図 7 は、追従フェーズにおける操作量決定ステップを説明するための図である。

図 8 は、追従フェーズにおける操作量決定ステップを説明するための図である。

図 9 A および図 9 B は、本発明の第 1 実施例のフィードバック制御装置の動作を示す波形図である。

図 10 は、本発明の第 1 実施例において偏差指標の調整方法を説明するための波形図である。

図 11 は、本発明の第 1 実施例において第 2 の操作量決定部の操作量出力値の調整方法を説明するための波形図である。

図 12 A および図 12 B は、本発明の第 2 実施例のフィードバック制御装置の動作を示す波形図である。

図 13 A および図 13 B は、本発明の第 3 実施例のフィードバック制御装置の動作を示す波形図である。

図 14 は、強非線形系のプロセスゲイン特性の 1 例を示す図である。

図 15 は、PID 制御による強非線形系の外乱リカバリー応答の 1 例を示す図である。

図 16 A および図 16 B は、単純適応制御 SAC 等の高度な適応制御理論の問題点を説明するための波形図である。

## 実施例の詳細な説明

### [第 1 実施例]

以下、本発明の第 1 実施例について図面を参照して詳細に説明する。本実施例



では、外乱印加に伴う外乱リカバリー制御の応答過程を、以下に示す3段階のフェーズ（追従フェーズ、収束フェーズ、安定フェーズ）に分割し、各々のフェーズに適切かつ単純な操作量出力手順を割り当て、一連のフェーズの組み合わせにより外乱リカバリー制御の応答波形を強制的かつ直接的に整形する。

図1は本実施例における追従フェーズ、収束フェーズおよび安定フェーズを説明するための波形図であり、図1Aは制御量PVの変化（応答波形）を示す図、図1Bは操作量MVの変化を示す図である。図1Bの○印は制御周期 $d t$ ごとに出力される操作量MVを表している。

まず、応答過程において、外乱の印加を検知した時点 $t_1$ から、制御量PVが設定値SPを超えない特定の外乱リカバリー制御経過時点 $t_2$ までを追従フェーズとする。この追従フェーズでは、外乱リカバリー制御の応答波形が乱れず、かつ制御量PVが設定値SPに追従するような操作量MVを継続的に出力する。

次に、前記特定の外乱リカバリー制御経過時点 $t_2$ から、予め指定された状況に到達する時点 $t_3$ までを収束フェーズとする。この収束フェーズでは、外乱リカバリー制御の応答波形が乱れず、かつ制御量PVが設定値SP近傍に収束するような操作量MVを継続的に出力する。そして、前記予め指定された状況に到達した時点 $t_3$ 以降を安定フェーズとする。この安定フェーズでは、制御量PVが設定値SPに安定するような操作量MVを継続的に出力する。

図2は本実施例のフィードバック制御装置の構成を示すブロック図である。本実施例のフィードバック制御装置は、制御装置のオペレータによって設定された設定値SPを入力する設定値入力部1と、図示しないセンサによって検出された制御量PVを入力する制御量入力部2と、外乱印加検知時点を追従フェーズの開始時点 $t_1$ として追従フェーズへの切り換えを行う第1のフェーズ切換部3と、追従フェーズにおいて制御量PVが設定値SPを超えない特定の外乱リカバリー制御経過時点を収束フェーズの開始時点 $t_2$ として収束フェーズへの切り換えを行う第2のフェーズ切換部4と、収束フェーズにおいて予め設定された状況に到達した時点安定フェーズの開始時点 $t_3$ として安定フェーズへの切り換えを行う第3のフェーズ切換部5と、追従フェーズにおいて制御量PVを設定値SPに追従させる操作量MVを継続的に出力する第1の操作量決定部6と、収束フェー

ズにおいて制御量P Vを設定値S P近傍に収束させる操作量M Vを継続的に出力する第2の操作量決定部7と、安定フェーズにおいて制御量P Vを設定値S Pに安定させる操作量M Vを継続的に出力する第3の操作量決定部8と、各フェーズに応じて決定された操作量M Vを図示しない制御対象に出力する操作量出力部9とを備えている。

図3は図2のフィードバック制御装置の動作を示すフローチャート図である。設定値S Pは、制御装置のオペレータによって設定され、設定値入力部1を介して第1のフェーズ切換部3、第2のフェーズ切換部4、第3のフェーズ切換部5、第1の操作量決定部6、第2の操作量決定部7及び第3の操作量決定部8に入力される。

また、制御対象の制御量P Vは、図示しないセンサによって検出され、制御量入力部2を介して第1のフェーズ切換部3、第2のフェーズ切換部4、第3のフェーズ切換部5、第1の操作量決定部6、第2の操作量決定部7及び第3の操作量決定部8に入力される。

初期状態では、安定フェーズが選択される。すなわち、制御開始に伴って、第1のフェーズ切換部3は、追従フェーズの開始時点 $t_1$ か否かを判断し（図3ステップ101）、開始時点 $t_1$ でないと判断した場合、フェーズ切り換えを行わずにステップ107に進んで安定フェーズのままとする。安定フェーズの場合、第3の操作量決定部8が予め規定された操作量M Vを出力し、操作量出力部9は、第3の操作量決定部8から出力された操作量を制御対象へ出力する（ステップ107）。

ステップ101において、追従フェーズの開始時点 $t_1$ と判断した場合、第1のフェーズ切換部3は、安定フェーズから追従フェーズへ切り換えを行い、追従フェーズへ切り換えたことを第2のフェーズ切換部4、第3のフェーズ切換部5及び第1の操作量決定部6に通知する。追従フェーズの場合、第1の操作量決定部6が予め規定された操作量M Vを出力し、操作量出力部9は、第1の操作量決定部6から出力された操作量を制御対象へ出力する（ステップ102）。

次に、追従フェーズに切り換えられた場合、第2のフェーズ切換部4は、収束フェーズの開始時点 $t_2$ か否かを判断し（ステップ103）、開始時点 $t_2$ でな

いと判断した場合、フェーズ切り換えを行わずにステップ102に戻り追従フェーズのままとする。

ステップ103において、収束フェーズの開始時点 $t_2$ と判断した場合、第2のフェーズ切換部4は、追従フェーズから収束フェーズへ切り換えを行い、収束フェーズへ切り換えたことを第1のフェーズ切換部3、第3のフェーズ切換部5及び第2の操作量決定部7に通知する。収束フェーズの場合、第2の操作量決定部7が予め規定された操作量 $MV$ を出力し、操作量出力部9は、第2の操作量決定部7から出力された操作量を制御対象へ出力する（ステップ104）。

次に、収束フェーズに切り換えられた場合、第1のフェーズ切換部3は、追従フェーズの開始時点 $t_1$ か否かを判断し（ステップ105）、追従フェーズの開始時点 $t_1$ と判断した場合、ステップ102に進んで収束フェーズから追従フェーズへ切り換えを行い、追従フェーズへ切り換えたことを第2のフェーズ切換部4、第3のフェーズ切換部5及び第1の操作量決定部6に通知する。また、第1のフェーズ切換部3は、開始時点 $t_1$ でないと判断した場合、フェーズ切り換えを行わずにステップ106に進み収束フェーズのままとする。

続いて、第3のフェーズ切換部5は、安定フェーズの開始時点 $t_3$ か否かを判断し（ステップ106）、開始時点 $t_3$ でないと判断した場合、フェーズ切り換えを行わずにステップ104に戻り収束フェーズのままとする。

ステップ106において、安定フェーズの開始時点 $t_3$ と判断した場合、第3のフェーズ切換部5は、収束フェーズから安定フェーズへ切り換えを行い、安定フェーズへ切り換えたことを第1のフェーズ切換部3、第2のフェーズ切換部4及び第3の操作量決定部8に通知する。ステップ107の処理は前述のとおりである。以上のようなステップ101～107の処理をオペレータ等の指令によって制御装置が停止するまで（ステップ108においてYES）、制御周期 $dt$ ごとに繰り返す。

ここで、フェーズ切り換えについてより詳細に説明する。図4、図5は、安定フェーズから追従フェーズへの切り換え及び追従フェーズから収束フェーズへの切り換えを説明するための波形図である。安定フェーズから追従フェーズへ切り換えるか否かの判断方法には2通りあり、一方の判断方法によれば、第1のフェ

ーズ切換部 3 は、制御量  $PV$  が設定値  $SP$  の近傍で安定した状態（安定フェーズの状態）から、設定値  $SP$  と制御量  $PV$  との偏差  $E_r$  が予め設定された偏差指標  $E_s$  よりも大きくなった時点を、追従フェーズの開始時点（外乱印加検知時点） $t_1$  と判断し、安定フェーズから追従フェーズへの切り換えを行う（図 4）。

また、もう一方の判断方法によれば、第 1 のフェーズ切換部 3 は、外乱印加を通知する外部からのフェーズ切換信号が入力された時点を、追従フェーズの開始時点  $t_1$  と判断し、安定フェーズから追従フェーズへの切り換えを行う。

次に、追従フェーズから収束フェーズへ切り換えるか否かの判断方法も 2 通りあり、一方の判断方法によれば、第 2 のフェーズ切換部 4 は、設定値  $SP$  と制御量  $PV$  との偏差  $E_r$  が予め設定された偏差指標  $E_x$  よりも小さくなった時点を、収束フェーズの開始時点（特定の外乱リカバリー制御経過時点） $t_2$  と判断し、追従フェーズから収束フェーズへの切り換えを行う（図 4）。

また、もう一方の判断方法によれば、第 2 のフェーズ切換部 4 は、現在の制御周期における制御量  $PV$  から設定値  $SP$  に達するまでの時間である到達残り時間の予測値  $T_r$  を設定値  $SP$  と制御量  $PV$  との偏差  $E_r$  及び制御量  $PV$  の変化率  $\Delta PV$  に基づいて  $T_r = E_r / \Delta PV$  により計算し、計算した到達残り時間予測値  $T_r$  が予め設定された時間指標  $T_x$  よりも小さくなった時点を、収束フェーズの開始時点（特定の外乱リカバリー制御経過時点） $t_2$  と判断し、追従フェーズから収束フェーズへの切り換えを行う（図 5）。

図 6 は収束フェーズから安定フェーズへの切り換えを説明するための波形図である。第 3 のフェーズ切換部 5 は、収束フェーズの開始時点  $t_2$  から、予め設定された時間指標  $T_c$  が経過した時点を、安定フェーズの開始時点（予め指定された状況に到達する時点） $t_3$  と判断し、収束フェーズから安定フェーズへの切り換えを行う。

次に、各フェーズにおける操作量決定ステップについて説明する。追従フェーズにおける操作量決定ステップには 3 通りあり、第 1 の手順によれば、第 1 の操作量決定部 6 は、予め設定された操作量  $MV_1$  を継続的に出力する。

また、第 2 の手順によれば、第 1 の操作量決定部 6 は、予め設定された操作量  $MV_1$  を時間遅れフィルタ処理して、時間遅れフィルタ処理後の値  $MV_f$  を継続

的に出力する。すなわち、第2の手順では、操作量 $MV_1$ を図7に示すような時間遅れフィルタに通して、時間遅れフィルタ処理後の操作量 $MV_f$ を制御対象に与えることになる。

そして、第3の手順によれば、第1の操作量決定部6は、制御の即応性を重視したPID制御アルゴリズム（P，PD，PI制御を含む）により算出した操作量 $MV_c$ を継続的に出力する。すなわち、第3の手順では、図8に示すようなPID制御系により偏差 $E_r$ から操作量 $MV_c$ を算出して制御対象に与えることになる。

収束フェーズにおいて、第2の操作量決定部7は、予め設定された操作量 $MV_2$ を継続的に出力する。また、安定フェーズにおいて、第3の操作量決定部8は、制御の安定性を重視したPID制御アルゴリズム（P，PD，PI制御を含む）により算出した操作量 $MV_d$ を継続的に出力する。すなわち、第3の操作量決定部8は、図8と同様のPID制御系により偏差 $E_r$ から操作量 $MV_d$ を算出して制御対象に与えることになる。

本実施例では、前述のように、外乱リカバリー制御の応答過程を3段階のフェーズ（追従フェーズ，収束フェーズ，安定フェーズ）に分割することが、重要な着眼点である。例えば非線形性の強い制御対象について、外乱印加時に設定値 $SP$ へと制御量 $PV$ を復帰させる外乱リカバリー制御の場合、図14で説明したように、追従フェーズに相当する段階と、安定フェーズに相当する段階では、制御対象の平均的なプロセスゲイン特性が大きく異なる。

このとき、追従フェーズと安定フェーズとを同一特性の制御手法で制御しようとすると、追従フェーズに適切な制御特性であれば安定フェーズには不適切な制御特性になり、逆に安定フェーズに適切な制御特性であれば追従フェーズには不適切な制御特性になる。そして、温度制御における高速外乱リカバリーなどでは、これら追従フェーズと安定フェーズの特性の切り換わりが急激なため、切換時点の前後で制御応答波形が乱れる。すなわち、追従フェーズか安定フェーズのどちらかの制御特性が劣化するだけでなく、両者の中間段階での制御応答波形の乱れも顕著に現れる。

本実施例は、追従フェーズと安定フェーズとに別の制御特性を与える手法によ

り制御を行おうとするものであり、かつ追従フェーズと安定フェーズの切換時点の前後で制御応答波形が乱れないように、さらに別の制御特性を与えて制御を行うための収束フェーズを設けている。

そして、まず追従フェーズでは、制御量  $PV$  が設定値  $SP$  に追従することだけを目的とした操作量  $MV$  を出力する。次に、収束フェーズでは、追従フェーズから安定フェーズに移行させるために制御量  $PV$  が設定値  $SP$  近傍に収束することだけを目的とした操作量  $MV$  を出力する。最後に、安定フェーズでは、制御量  $PV$  が設定値  $SP$  に安定することだけを目的とした操作量  $MV$  を出力する。

また、本実施例では、追従フェーズ、収束フェーズ、安定フェーズのそれぞれの制御特性を別々に調整できるので、実対象に合わせたパラメータ調整が容易になる。特に、外乱リカバリー制御では、追従フェーズから収束フェーズへの切換時点を調整することと、収束フェーズにおける操作量  $MV$  を調整することにより、外乱リカバリー制御の応答波形を強制的かつ直接的に整形する作用が得られるため、きれいな外乱リカバリー制御が実現できる。

次に、本実施例のより具体的な動作として、高速外乱リカバリー制御に図 2 のフィードバック制御装置を適用した場合の動作を説明する。図 9 は本実施例のフィードバック制御装置の動作を示す波形図であり、図 9 A は制御量  $PV$  の変化を示す図、図 9 B は操作量  $MV$  の変化を示す図である。なお、前述のように図 3 のステップ 101 ~ 108 の処理は制御周期  $dt$  ごとに行われる。したがって、操作量  $MV$  も制御周期  $dt$  ごとに出力される。図 9 B の○印は制御周期  $dt$  ごとに出力される操作量  $MV$  を表している。

本実施例では、安定フェーズから追従フェーズへの切換時点（外乱印加検知時点）  $t_1$  を、制御量  $PV$  が設定値  $SP$  の近傍で安定した状態（安定フェーズの状態）から、設定値  $SP$  と制御量  $PV$  との偏差  $E_r$  が予め設定された偏差指標  $E_s$  よりも大きくなった時点とする。また、追従フェーズから収束フェーズへの切換時点（特定の外乱リカバリー制御経過時点）  $t_2$  を、設定値  $SP$  と制御量  $PV$  との偏差  $E_r$  が予め設定された偏差指標  $E_x$  よりも小さくなった時点とし、収束フェーズから安定フェーズへの切換時点（予め指定された状況に到達する時点）  $t_3$  を、予め設定された時間指標  $T_c$  が経過した時点とする。

また、本実施例では、追従フェーズの操作量 $MV$ の決定ステップを、予め設定された操作量 $MV_1$ を継続的に出力するステップとし、収束フェーズの操作量 $MV$ の決定ステップを、予め設定された操作量 $MV_2$ を継続的に出力するステップとし、安定フェーズの操作量 $MV$ の決定ステップを、制御の安定性を重視したPID制御アルゴリズムにより算出した操作量 $MV_d$ を継続的に出力するステップとする。

本実施例では、フェーズを示すパラメータを $F$ とし、 $F=1$ のとき追従フェーズ、 $F=2$ のとき収束フェーズ、 $F=3$ のとき安定フェーズとする。また、現在の制御周期 $n$ における設定値を $SP(n)$ 、制御周期 $n$ における制御量を $PV(n)$ 、制御周期 $n$ における操作量を $MV(n)$ 、制御周期 $n$ における制御偏差を $Er(n)$ とする。

第1のフェーズ切換部3は、図3のステップ101又は105において、現在の制御周期 $n$ における偏差 $Er(n)$ が予め設定された偏差指標 $Es$ よりも大きく、かつ1制御周期前の偏差 $Er(n-1)$ が偏差指標 $Es$ よりも小さい場合、フェーズを示すパラメータ $F$ の値を $F=1$ （追従フェーズ）とし、この $F=1$ を第2のフェーズ切換部4、第3のフェーズ切換部5及び第1の操作量決定部6に出力する。すなわち、第1のフェーズ切換部3は以下のような処理を行なう。

$$\text{if } Er(n) > Es \text{ and } Er(n-1) < Es \text{ then } F \leftarrow 1 \quad \dots (1)$$

なお、第1のフェーズ切換部3は、第2のフェーズ切換部4または第3のフェーズ切換部5から $F=2$ または $F=3$ の通知を受けた場合、第1の操作量決定部6に出力しているパラメータ $F$ の値を通知を受けた値 $F=2$ または $F=3$ に変更する。

次に、第1の操作量決定部6には、追従フェーズにおける操作量出力値 $MV_1$ が予め設定されている。第1の操作量決定部6は、第1のフェーズ切換部3から出力されたパラメータ $F$ の値が $F=1$ である場合、予め設定された値 $MV_1$ を操作量 $MV(n)$ として出力する（図3ステップ102、図9B）。すなわち、第1の操作量決定部6は以下のような処理を行なう。

$$\text{if } F=1 \text{ then } MV(n) \leftarrow MV_1 \quad \dots (2)$$

操作量出力値MV1については、制御量PVが所望の追従特性で設定値SPに復帰するように設定すればよい。高速外乱リカバリー制御に本発明を適用する場合、 $MV1 = 100\%$ が適当である。

次に、第2のフェーズ切換部4は、現在の制御周期nにおける設定値SP(n)と制御量PV(n)との偏差Er(n)を算出する。

$$Er(n) = SP(n) - PV(n) \quad \dots (3)$$

また、第2のフェーズ切換部4には、フェーズ切換判断のための偏差指標Exが予め設定されている。第2のフェーズ切換部4は、図3のステップ103において、パラメータFの値が $F = 1$ で、設定値SP(n)が設定値SP(n-1)から変更されておらず、かつ偏差Er(n)が偏差指標Exよりも小さい場合、現時点を収束フェーズの開始時点t2と判断し、パラメータFの値を $F = 2$ （収束フェーズ）とし、この $F = 2$ を第1のフェーズ切換部3、第3のフェーズ切換部5及び第2の操作量決定部7に出力する。すなわち、第2のフェーズ切換部4は以下のような処理を行なう。

$$\text{if } F=1 \text{ and } SP(n) = SP(n-1) \text{ and } Er(n) < Ex \text{ then } F \leftarrow 2 \quad \dots (4)$$

偏差指標Exについては、追従フェーズから収束フェーズへ移行するタイミングが適切となるように、すなわち制御量PVが所望の追従特性（応答波形）で設定値SPに復帰するように試行錯誤で調整すればよい。高速外乱リカバリー制御に本発明を適用する場合、図10に示すように、オーバーシュート傾向か昇温不足傾向が2段階で現れる。偏差指標Exの調整では1段階目に着目し、オーバーシュートが発生する場合は偏差指標Exを大きな値に、昇温不足の場合は偏差指標Exを小さな値に修正すれば良い。偏差指標Exは、外乱リカバリー制御の応答波形を強制的かつ直接的に整形する作用のある数値なので、試行錯誤により容易に適切な値を求めることができる。

なお、第2のフェーズ切換部4は、第1のフェーズ切換部3または第3のフェーズ切換部5から $F = 1$ または $F = 3$ の通知を受けた場合、第2の操作量決定部7に出力しているパラメータFの値を通知を受けた値 $F = 1$ または $F = 3$ に変更する。



次に、第2の操作量決定部7には、収束フェーズにおける操作量出力値MV2が予め設定されている。第2の操作量決定部7は、第2のフェーズ切換部4から出力されたパラメータFの値が $F=2$ である場合、予め設定された値MV2を操作量MV(n)として出力する(図3ステップ104、図9B)。すなわち、第2の操作量決定部7は以下のような処理を行なう。

if  $F=2$  then  $MV(n) \leftarrow MV2$  . . . (5)

操作量出力値MV2については、制御量PVが所望の特性で設定値SPに収束するように試行錯誤で調整すればよい。高速外乱リカバリー制御に本発明を適用する場合、図11に示すように、オーバーシュート傾向か昇温不足傾向が2段階で現れる。操作量出力値MV2の調整では2段階目に着目し、オーバーシュートが発生する場合は操作量出力値MV2を小さな値に、昇温不足の場合は操作量出力値MV2を大きな値に修正すれば良い。操作量出力値MV2は、外乱リカバリー制御の応答波形を強制的かつ直接的に整形する作用のある数値なので、試行錯誤により容易に適切な値を求めることができる。

次に、第3のフェーズ切換部5には、フェーズ切換判断のための時間指標Tcが予め設定されている。第3のフェーズ切換部5は、図3のステップ106において、パラメータFの値が $F=2$ で、かつ $F=2$ (収束フェーズ)にセットされた時点t2からの経過時間tnが時間指標Tcよりも長い場合、現時点を安定フェーズの開始時点t3と判断し、パラメータFの値を $F=3$ (安定フェーズ)とし、この $F=3$ を第1のフェーズ切換部3、第2のフェーズ切換部4及び第3の操作量決定部8に出力する。すなわち、第3のフェーズ切換部5は、以下のような処理を行なう。

if  $F=2$  and  $tn > Tc$  then  $F \leftarrow 3$  . . . (6)

時間指標Tcについては、制御量PVが所望の特性で設定値SPに収束するように試行錯誤で調整すればよい。高速外乱リカバリー制御に本発明を適用する場合、制御対象のプロセスむだ時間Lpの1~2倍程度の時間が適当である。なお、第3のフェーズ切換部5は、第1のフェーズ切換部3または第2のフェーズ切換部4から $F=1$ または $F=2$ の通知を受けた場合、第3の操作量決定部8に出力しているパラメータFの値を通知を受けた値 $F=1$ または $F=2$ に変更する。

次に、第3の操作量決定部8は、第3のフェーズ切換部5から出力されたパラメータFの値がF=3である場合、制御の安定性を重視したPID制御アルゴリズムにより算出した操作量MVd(n)を操作量MV(n)として出力する(図3ステップ107、図9B)。すなわち、第3の操作量決定部8は以下のような処理を行なう。

$$\text{if } F=3 \text{ then } MV(n) \leftarrow MVd(n) \quad \dots (7)$$

ここで、制御の安定性を重視したPID制御アルゴリズムは、ラプラス演算子sを用いた伝達関数で表すと次式のようにになる。

$$MVd(n) = Kg3 \{ 1 + (1/Ti3s) + Td3s \} \{ SP(n) - PV(n) \} \quad \dots (8)$$

式(8)において、Kg3は比例ゲイン、Ti3は積分時間、Td3は微分時間である。なお、安定性重視のためのパラメータKg3、Ti3、Td3の設定の仕方については周知であるので、説明は省略する。

以上のように、本実施例によれば、外乱リカバリー制御の応答過程を追従フェーズと収束フェーズと安定フェーズの3段階に分割し、外乱印加検知時点を追従フェーズの開始時点とし、追従フェーズにおいて制御量が設定値を超えない特定の外乱リカバリー制御経過時点を収束フェーズの開始時点とし、収束フェーズにおいて予め設定された状況に到達した時点を安定フェーズの開始時点として各フェーズの切り換えを行い、追従フェーズでは制御量を設定値に追従させる操作量を出力し、収束フェーズでは制御量を設定値近傍に収束させる操作量を出力し、安定フェーズでは制御量を設定値に安定させる操作量を出力するようにしたことにより、追従フェーズ、収束フェーズ、安定フェーズのそれぞれの制御特性を別々に調整することができるので、実対象に合わせたパラメータ調整が容易になる。特に、追従フェーズから収束フェーズへの切換時点を調整することと、収束フェーズにおける操作量を調整することにより、外乱リカバリー制御の応答波形を強制的かつ直接的に整形する作用が得られるため、非線形性の強い系を制御対象とする場合でも、適切な外乱リカバリー制御を実現することができる。また、本実施例は、単純適応制御SAC等の高度な適応制御理論では制御演算回数が不足する場合、例えば高速外乱リカバリー制御などの場合でも、適切な制御を実現する

ことができる。

### [第2実施例]

次に、本発明の第2実施例について説明する。本実施例は高速外乱リカバリー制御への別の適用事例を示すものである。本実施例においてもフィードバック制御装置の構成と処理の流れは図2、図3のとおりであるので、図2、図3の符号を用いて説明する。図12は本実施例のフィードバック制御装置の動作を示す波形図であり、図12Aは制御量PVの変化を示す図、図12Bは操作量MVの変化を示す図である。図12Bの○印は制御周期 $d_t$ ごとに出力される操作量MVである。

本実施例では、安定フェーズから追従フェーズへの切換時点（外乱印加検知時点） $t_1$ を、制御量PVが設定値SPの近傍で安定した状態（安定フェーズの状態）から、設定値SPと制御量PVとの偏差 $E_r$ が予め設定された偏差指標 $E_s$ よりも大きくなった時点とする。

また、追従フェーズから収束フェーズへの切換時点（特定の外乱リカバリー制御経過時点） $t_2$ を、設定値SPと制御量PVとの偏差 $E_r$ 及び制御量PVの変化率 $\Delta PV$ に基づいて計算される到達残り時間予測値 $T_r = E_r / \Delta PV$ が予め設定された時間指標 $T_x$ よりも小さくなった時点とする。さらに、収束フェーズから安定フェーズへの切換時点（予め指定された状況に到達する時点） $t_3$ を、予め設定された時間指標 $T_c$ が経過した時点とする。

また、本実施例では、追従フェーズの操作量MVの決定ステップを、予め設定された操作量MV1を時間遅れフィルタ処理して、時間遅れフィルタ処理後の値MVfを継続的に出力するステップとし、収束フェーズの操作量MVの決定ステップを、予め設定された操作量MV2を継続的に出力するステップとし、安定フェーズの操作量MVの決定ステップを、制御の安定性を重視したPID制御アルゴリズムにより算出した操作量MVdを継続的に出力するステップとする。

第1のフェーズ切換部3の動作は第1実施例と同じである。次に、第1の操作量決定部6には、追従フェーズにおける操作量出力値MV1と1次遅れフィルタ時定数 $T_f$ とが予め設定されている。第1の操作量決定部6は、第1のフェーズ切換部3から出力されたパラメータFの値が $F = 1$ である場合、予め設定された

値  $MV_1$  を 1 次遅れフィルタ処理して、1 次遅れフィルタ処理後の値  $MV_f(n)$  を操作量  $MV(n)$  として出力する (図 3 ステップ 102、図 12B)。すなわち、第 1 の操作量決定部 6 は以下のような処理を行なう。

$$\text{if } F=1 \text{ then } MV(n) \leftarrow MV_f(n) \quad \dots (9)$$

ここで、1 次遅れフィルタ処理の演算式を、ラプラス演算子  $s$  を用いた伝達関数で表現すると次式のようにになる。

$$MV_f(n) = \{1 / (1 + T_f s)\} MV_1 \quad \dots (10)$$

第 1 の操作量決定部 6 は、式 (9) により 1 次遅れフィルタ処理後の値  $MV_f(n)$  を算出する。

操作量出力値  $MV_1$  については、制御量  $PV$  が所望の追従特性で設定値  $SP$  に復帰するように設定すればよい。高速外乱リカバリー制御に本発明を適用する場合、 $MV_1 = 100\%$  が適当である。また、1 次遅れフィルタ時定数  $T_f$  については、外乱印加後に制御量  $PV$  が設定値  $SP$  に復帰する外乱リカバリー速度が所望の速度になるように任意に設定すればよい。高速外乱リカバリー制御に本発明を適用する場合、1 次遅れフィルタ時定数  $T_f$  を長くすることにより昇温速度を遅くする調整が可能である。

次に、第 2 のフェーズ切換部 4 は、現在の制御周期  $n$  における設定値  $SP(n)$  と制御量  $PV(n)$  との偏差  $E_r(n)$  を前述の式 (3) により算出する。さらに、第 2 のフェーズ切換部 4 は、現在の制御周期  $n$  における制御量  $PV(n)$  から設定値  $SP$  に達するまでの時間である到達残り時間の予測値  $T_r(n)$  を次式のように算出する。

$$\begin{aligned} T_r(n) &= E_r(n) / \Delta PV \\ &= E_r(n) dt / \{PV(n) - PV(n-1)\} \quad \dots (11) \end{aligned}$$

式 (11) において、 $dt$  は制御周期、 $PV(n-1)$  は 1 制御周期前の制御量である。

また、第 2 のフェーズ切換部 4 には、フェーズ切換判断のための時間指標  $T_x$  が予め設定されている。第 2 のフェーズ切換部 4 は、図 3 のステップ 103 において、パラメータ  $F$  の値が  $F=1$  で、設定値  $SP(n)$  が設定値  $SP(n-1)$

から変更されておらず、かつ到達残り時間予測値  $T_r(n)$  が時間指標  $T_x$  よりも小さい場合、パラメータ  $F$  の値を  $F=2$  (収束フェーズ) とし、この  $F=2$  を第1のフェーズ切換部3、第3のフェーズ切換部5及び第2の操作量決定部7に出力する。すなわち、第2のフェーズ切換部4は以下のような処理を行なう。

$$\text{if } F=1 \text{ and } SP(n)=SP(n-1) \text{ and } T_r(n) < T_x \text{ then } F \leftarrow 2 \quad \dots (12)$$

時間指標  $T_x$  については、追従フェーズから収束フェーズへ移行するタイミングが適切となるように、すなわち制御量  $PV$  が所望の追従特性で設定値  $SP$  に復帰するように試行錯誤で調整すればよい。高速外乱リカバリー制御に本発明を適用する場合、図10で説明したとおり、オーバーシュート傾向か昇温不足傾向が2段階で現れる。時間指標  $T_x$  の調整では1段階目に着目し、オーバーシュートが発生する場合は時間指標  $T_x$  を大きな値に、昇温不足の場合は時間指標  $T_x$  を小さな値に修正すれば良い。時間指標  $T_x$  は、外乱リカバリー制御の応答波形を強制的かつ直接的に整形する作用のある数値なので、試行錯誤により容易に適切な値を求めることができる。

第2の操作量決定部7、第3のフェーズ切換部5及び第3の操作量決定部8の動作は第1実施例と同じである。

#### [第3実施例]

次に、本発明の第3実施例について説明する。本実施例は高速外乱リカバリー制御への別の適用事例を示すものである。本実施例においてもフィードバック制御装置の構成と処理の流れは図2、図3のとおりであるので、図2、図3の符号を用いて説明する。図13は本実施例のフィードバック制御装置の動作を示す波形図であり、図13Aは制御量  $PV$  の変化を示す図、図13Bは操作量  $MV$  の変化を示す図である。図13Bの○印は制御周期  $dt$  ごとに出力される操作量  $MV$  である。

本実施例では、安定フェーズから追従フェーズへの切換時点(外乱印加検知時点)  $t_1$  を、外乱印加を通知する外部からのフェーズ切換信号が入力された時点とする。プロセス制御の分野では、制御量  $PV$  が実際に変化する前に外乱印加を検知可能な場合がある。したがって、制御量  $PV$  に変化が現れる前に、フィード

フォワード的にフェーズ切換信号を入力することも可能である。

また、追従フェーズから収束フェーズへの切換時点（特定の外乱リカバリー制御経過時点） $t_2$ を、設定値 $SP$ と制御量 $PV$ との偏差 $E_r$ 及び制御量 $PV$ の変化率 $\Delta PV$ に基づいて計算される到達残り時間予測値 $T_r = E_r / \Delta PV$ が予め設定された時間指標 $T_x$ よりも小さくなった時点とする。さらに、収束フェーズから安定フェーズへの切換時点（予め指定された状況に到達する時点） $t_3$ を、予め設定された時間指標 $T_c$ が経過した時点とする。

また、本実施例では、追従フェーズの操作量 $MV$ の決定ステップを、制御の即応性を重視した $PID$ 制御（ $P$ 、 $PD$ 、 $PI$ 制御を含む）アルゴリズムにより算出した操作量 $MV_c$ を継続的に出力するステップとし、収束フェーズの操作量 $MV$ の決定ステップを、予め設定された操作量 $MV_2$ を継続的に出力するステップとし、安定フェーズの操作量 $MV$ の決定ステップを、制御の安定性を重視した $PID$ 制御アルゴリズムにより算出した操作量 $MV_d$ を継続的に出力するステップとする。

第1のフェーズ切換部3は、図3のステップ101又は105において、フェーズ切換信号 $S_f$ が外部から入力された場合、現時点を追従フェーズの開始時点 $t_1$ と判断し、フェーズを示すパラメータ $F$ の値を $F=1$ （追従フェーズ）とし、この $F=1$ を第2のフェーズ切換部4、第3のフェーズ切換部5及び第1の操作量決定部6に出力する。すなわち、第1のフェーズ切換部3は以下のような処理を行なう。

if  $S_f$  入力 then  $F \leftarrow 1$  . . . (13)

次に、第1の操作量決定部6は、第1のフェーズ切換部3から出力されたパラメータ $F$ の値が $F=1$ である場合、制御の即応性を重視した $PID$ 制御アルゴリズムにより算出した操作量 $MV_c(n)$ を操作量 $MV(n)$ として出力する（図3ステップ102、図13B）。すなわち、第1の操作量決定部6は以下のような処理を行なう。

if  $F=1$  then  $MV(n) \leftarrow MV_c(n)$  . . . (14)

ここで、制御の即応性を重視した $PID$ 制御アルゴリズムは、ラプラス演算子 $s$ を用いた伝達関数で表すと次式のようになる。

$$MV_c(n) = K_{g1} \{ 1 + (1/T_{i1}s) + T_{d1}s \} \{ SP(n) - PV(n) \} \quad \dots (15)$$

式(15)において、 $K_{g1}$ は比例ゲイン、 $T_{i1}$ は積分時間、 $T_{d1}$ は微分時間である。なお、即応性重視のためのパラメータ $K_{g1}$ 、 $T_{i1}$ 、 $T_{d1}$ の設定の仕方については周知であるので、説明は省略する。

第2のフェーズ切換部4の動作は第2実施例と同じである。また、第2の操作量決定部7、第3のフェーズ切換部5及び第3の操作量決定部8の動作は第1実施例と同じである。

なお、本発明は、上記各実施例に限定されず、本発明の技術思想の範囲内において、各実施例は適宜変更され得ることは明らかである。例えば、第1実施例で説明したとおり、安定フェーズから追従フェーズへ切り換えるか否かの判断方法が2通り、追従フェーズから収束フェーズへ切り換えるか否かの判断方法が2通り、収束フェーズから安定フェーズへ切り換えるか否かの判断方法が1通り、追従フェーズの操作量決定ステップが3通り、収束フェーズの操作量決定ステップが1通り、安定フェーズの操作量決定ステップが1通りなので、各判断方法と各操作量決定ステップのとり得る組み合わせは $2 \times 2 \times 1 \times 3 \times 1 \times 1$ の計12通りあり、このいずれの組み合わせを用いてもよい。

また、追従フェーズにおける操作量決定ステップのうち第3の手順(第3実施例)によれば、第1の操作量決定部6は、制御の即応性を重視したPID制御アルゴリズムにより算出した操作量 $MV_c$ を継続的に出力するようにしているが、これに限るものではなく、例えばIMC(Internal Model Control)等の他の制御アルゴリズムを用いて、即応性を重視した制御を行うようにしてもよい。

同様に、安定フェーズにおいて、第3の操作量決定部8は、制御の安定性を重視したPID制御アルゴリズムにより算出した操作量 $MV_d$ を継続的に出力するようにしているが、これに限るものではなく、他の制御アルゴリズムを用いて、安定性を重視した制御を行うようにしてもよい。

#### 産業上の利用可能性

以上のように、本発明にかかるフィードバック制御方法及びフィードバック制

御装置は、プロセス制御に適し、特に非線形性の強い系を制御対象とするプロセス制御に適している。



## 請 求 の 範 囲

1. 外乱印加時に制御量が設定値へ復帰するように制御対象に操作量を与えて外乱リカバリー制御を行うフィードバック制御方法において、

外乱リカバリー制御の応答過程を追従フェーズと収束フェーズと安定フェーズの3段階に分割するステップと、

外乱印加検知時点を前記追従フェーズの開始時点として前記追従フェーズへの切り換えを行う第1のフェーズ切換ステップと、

前記追従フェーズにおいて制御量を設定値に追従させる操作量を継続的に出力する追従フェーズの操作量決定ステップと、

前記追従フェーズにおいて制御量が設定値を超えない特定の外乱リカバリー制御経過時点を前記収束フェーズの開始時点として前記収束フェーズへの切り換えを行う第2のフェーズ切換ステップと、

前記収束フェーズにおいて制御量を設定値近傍に収束させる操作量を継続的に出力する収束フェーズの操作量決定ステップと、

前記収束フェーズにおいて予め設定された状況に到達した時点を前記安定フェーズの開始時点として前記安定フェーズへの切り換えを行う第3のフェーズ切換ステップと、

前記安定フェーズにおいて制御量を設定値に安定させる操作量を継続的に出力する安定フェーズの操作量決定ステップとを備えることを特徴とするフィードバック制御方法。

2. 請求の範囲第1項記載のフィードバック制御方法において、

前記第1のフェーズ切換ステップは、設定値と制御量との偏差に基づいて外乱が印加されたことを確認した時点を前記追従フェーズの開始時点とするステップを備えることを特徴とするフィードバック制御方法。

3. 請求の範囲第1項記載のフィードバック制御方法において、

前記第1のフェーズ切換ステップは、外乱印加を通知する外部からのフェーズ切換信号が入力された時点を前記追従フェーズの開始時点とするステップを備え

ることを特徴とするフィードバック制御方法。

4. 請求の範囲第1項記載のフィードバック制御方法において、

前記第2のフェーズ切換ステップは、前記追従フェーズにおいて現在の制御量から設定値に達するまでの時間である到達残り時間の予測値を、設定値と制御量との偏差及び制御量の変化率に基づいて計算するステップと、計算した到達残り時間予測値が予め設定された時間指標よりも小さくなった時点を前記収束フェーズの開始時点とするステップとを備えることを特徴とするフィードバック制御方法。

5. 請求の範囲第1項記載のフィードバック制御方法において、

前記第3のフェーズ切換ステップは、前記収束フェーズの開始時点から、予め設定された時間指標が経過した時点を前記安定フェーズの開始時点とするステップを備えることを特徴とするフィードバック制御方法。

6. 請求の範囲第1項記載のフィードバック制御方法において、

前記追従フェーズの操作量決定ステップは、予め設定された操作量を継続的に出力するステップを備えることを特徴とするフィードバック制御方法。

7. 請求の範囲第1項記載のフィードバック制御方法において、

前記収束フェーズの操作量決定ステップは、予め設定された操作量を継続的に出力するステップを備えることを特徴とするフィードバック制御方法。

8. 外乱リカバリー制御の応答過程を追従フェーズと収束フェーズと安定フェーズの3段階に分割し、外乱印加時に制御量が設定値へ復帰するように制御対象に操作量を与えて前記外乱リカバリー制御を行うフィードバック制御装置であって、

外乱印加検知時点を前記追従フェーズの開始時点として前記追従フェーズへの切り換えを行う第1のフェーズ切換部と、

前記追従フェーズにおいて制御量が設定値を超えない特定の外乱リカバリー制御経過時点を前記収束フェーズの開始時点として前記収束フェーズへの切り換えを行う第2のフェーズ切換部と、

前記収束フェーズにおいて予め設定された状況に到達した時点を前記安定フェーズの開始時点として前記安定フェーズへの切り換えを行う第3のフェーズ切換部と、

前記追従フェーズにおいて制御量を設定値に追従させる操作量を継続的に出力する第1の操作量決定部と、

前記収束フェーズにおいて制御量を設定値近傍に収束させる操作量を継続的に出力する第2の操作量決定部と、

前記安定フェーズにおいて制御量を設定値に安定させる操作量を継続的に出力する第3の操作量決定部とを備えることを特徴とするフィードバック制御装置。

9. 請求の範囲第8項記載のフィードバック制御装置において、

前記第1のフェーズ切換部は、設定値と制御量との偏差に基づいて外乱が印加されたことを確認した時点の前記追従フェーズの開始時点とすることを特徴とするフィードバック制御装置。

10. 請求の範囲第8項記載のフィードバック制御装置において、

前記第1のフェーズ切換部は、外乱印加を通知する外部からのフェーズ切換信号が入力された時点の前記追従フェーズの開始時点とすることを特徴とするフィードバック制御装置。

11. 請求の範囲第8項記載のフィードバック制御装置において、

前記第2のフェーズ切換部は、前記追従フェーズにおいて現在の制御量から設定値に達するまでの時間である到達残り時間の予測値を、設定値と制御量との偏差及び制御量の変化率に基づいて計算し、計算した到達残り時間予測値が予め設定された時間指標よりも小さくなった時点の前記収束フェーズの開始時点とすることを特徴とするフィードバック制御装置。

12. 請求の範囲第8項記載のフィードバック制御装置において、

前記第3のフェーズ切換部は、前記収束フェーズの開始時点から、予め設定された時間指標が経過した時点の前記安定フェーズの開始時点とすることを特徴とするフィードバック制御装置。

13. 請求の範囲第8項記載のフィードバック制御装置において、

前記第1の操作量決定部は、予め設定された操作量を継続的に出力することを特徴とするフィードバック制御装置。

14. 請求の範囲第8項記載のフィードバック制御装置において、

前記第2の操作量決定部は、予め設定された操作量を継続的に出力することを

特徴とするフィードバック制御装置。

図 1 A

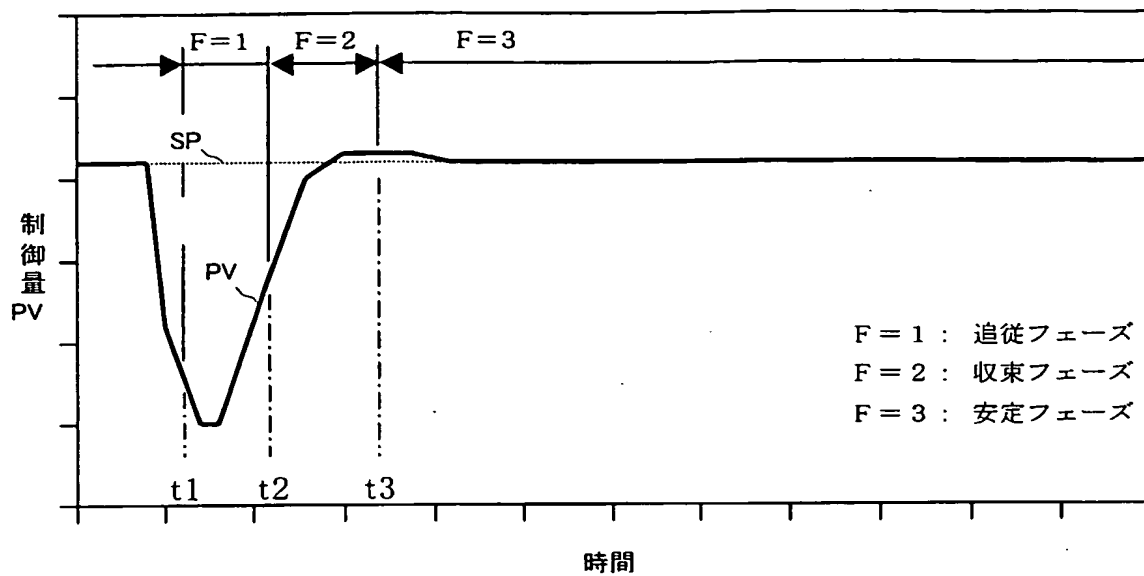
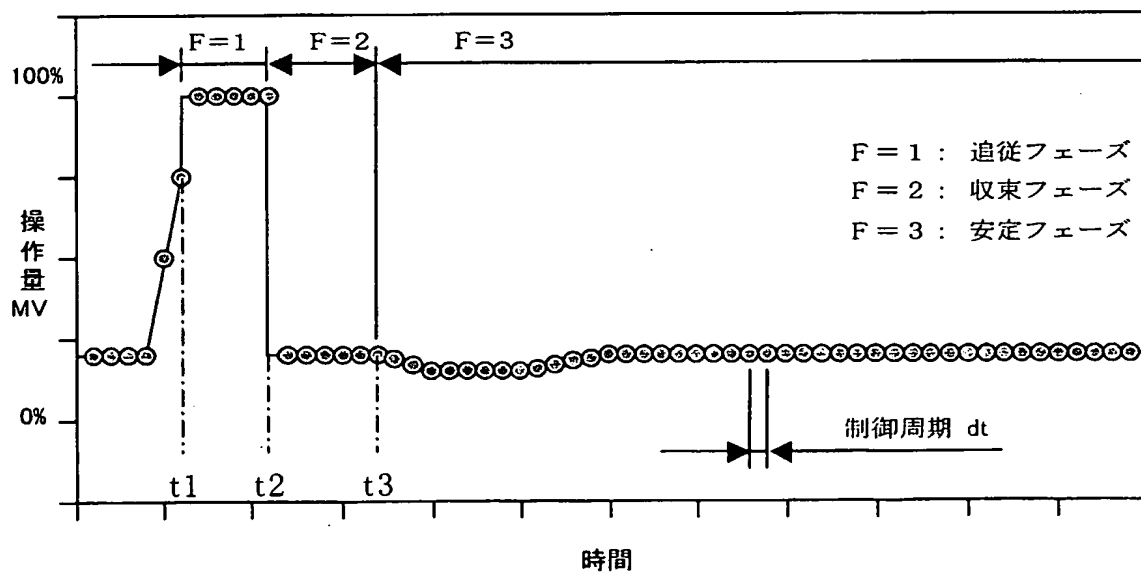


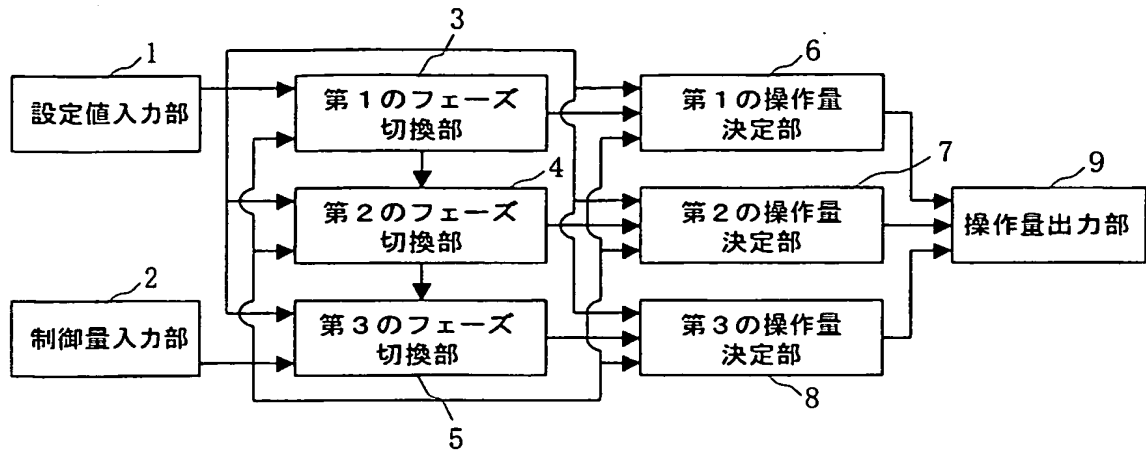
図 1 B



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

2 / 1 1

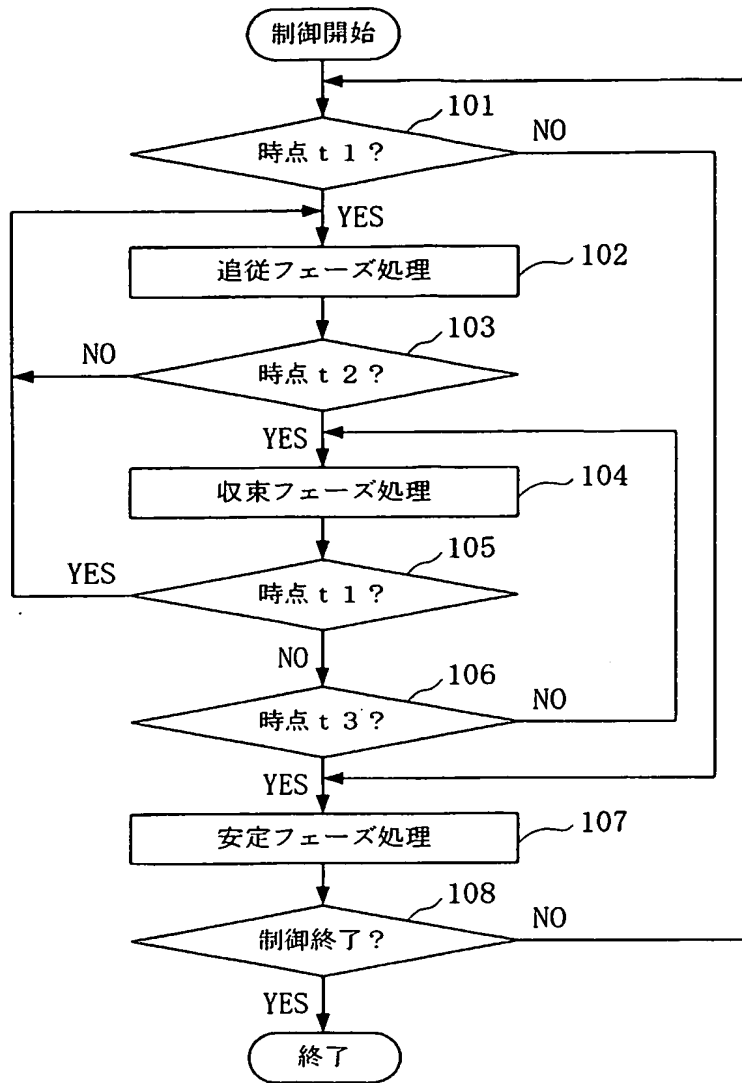
図 2



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



図 3



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

図 4

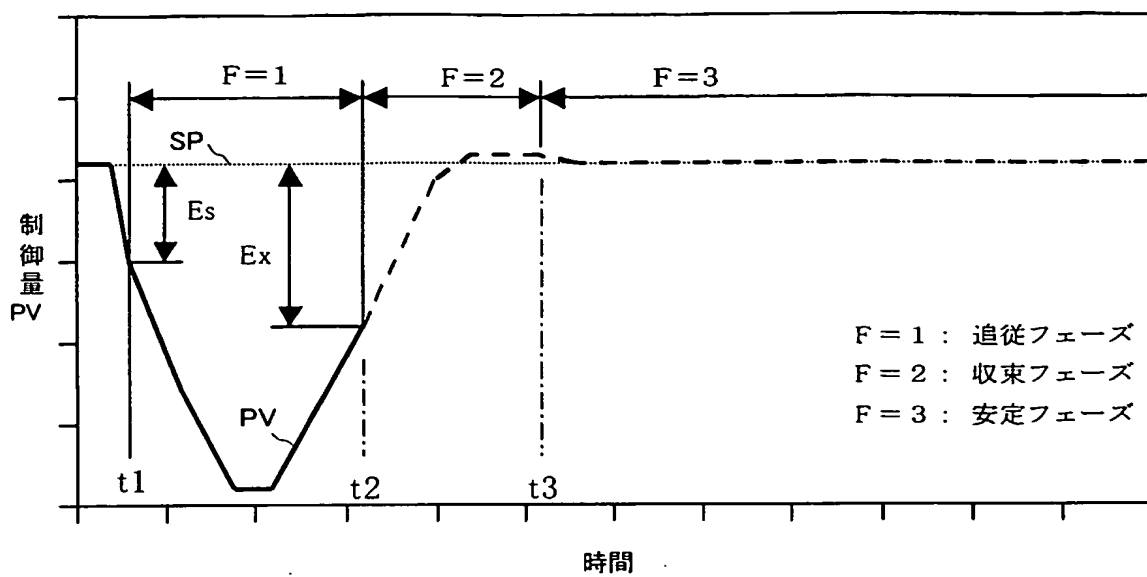
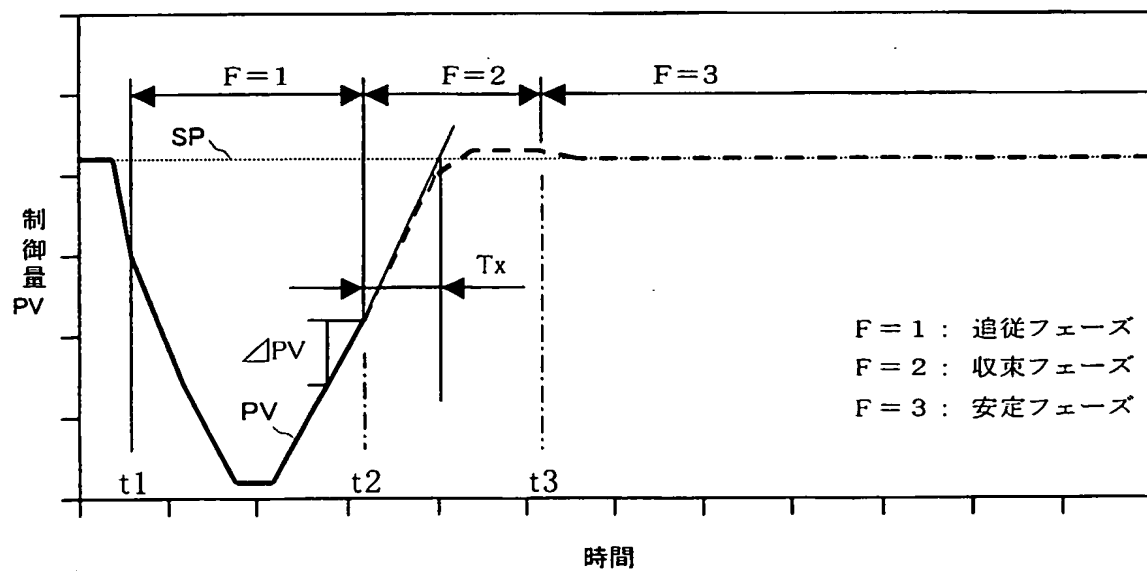


図 5



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

図 6

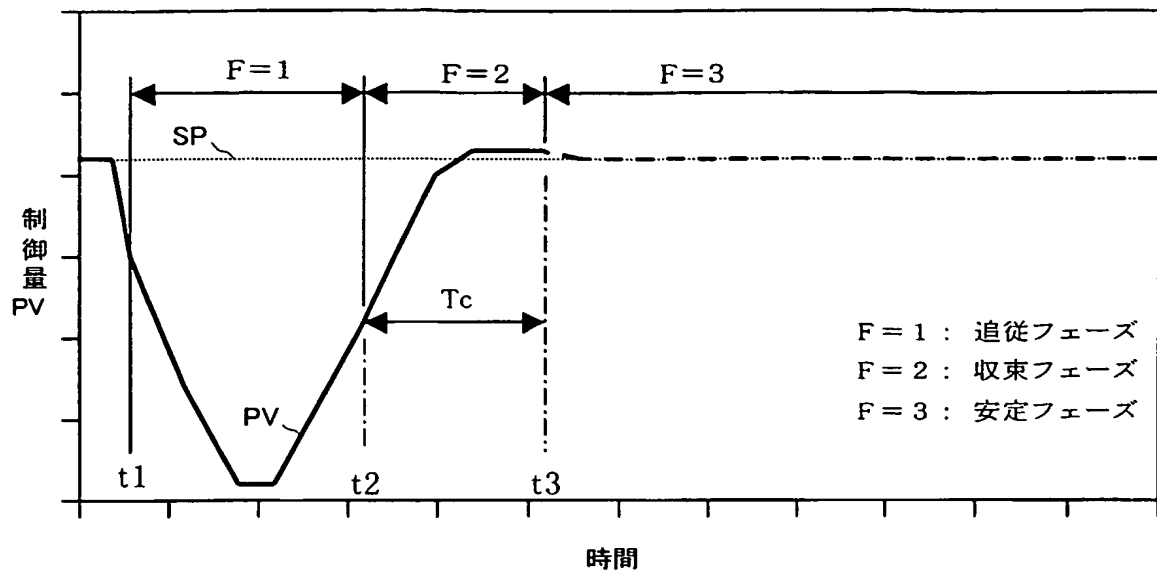


図 7

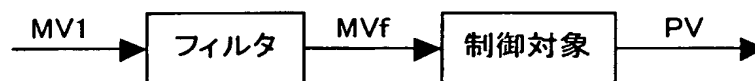
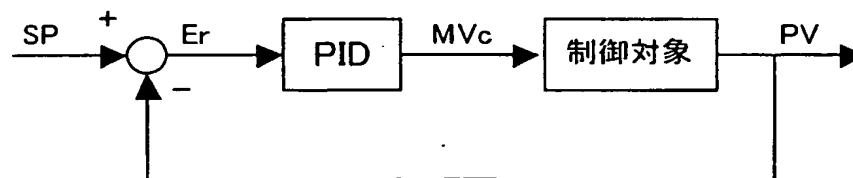


図 8



THIS PAGE BLANK (USPTO)

図 9 A

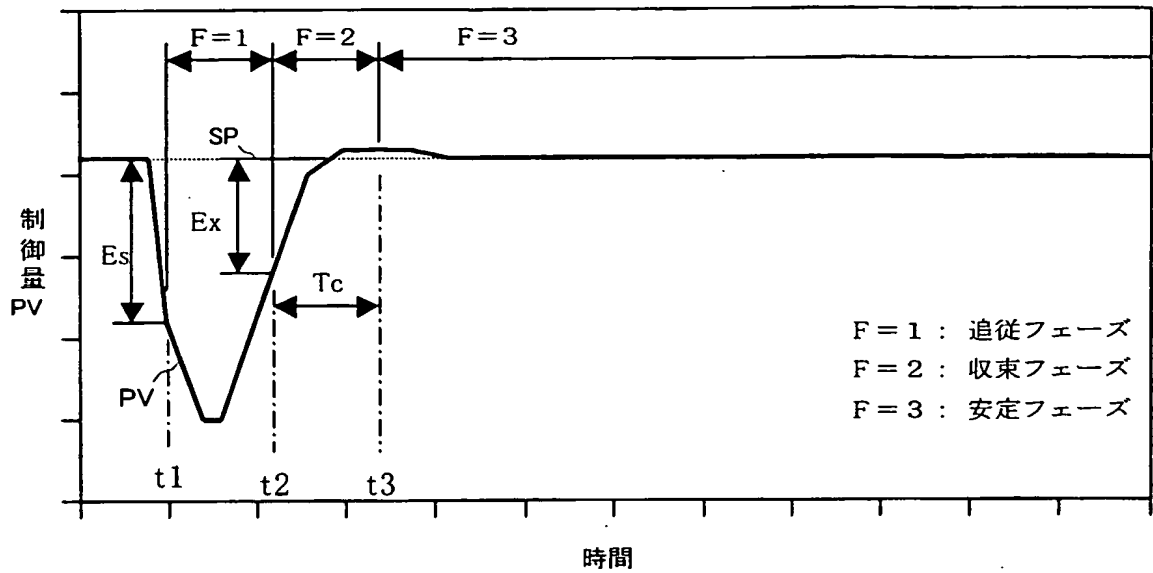
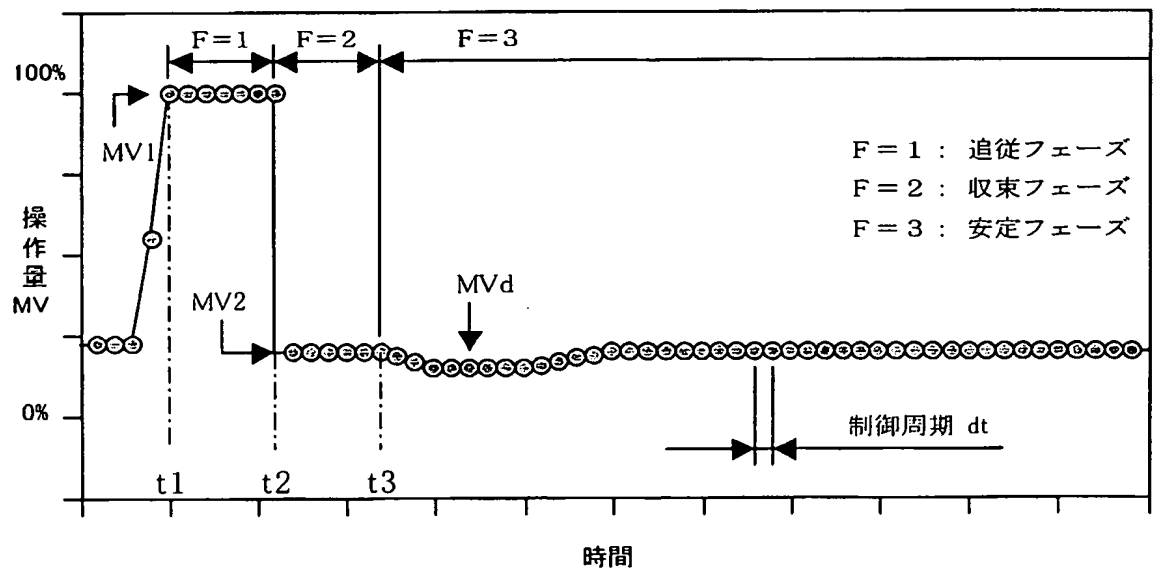


図 9 B



THIS PAGE BLANK (USPTO)



图 10

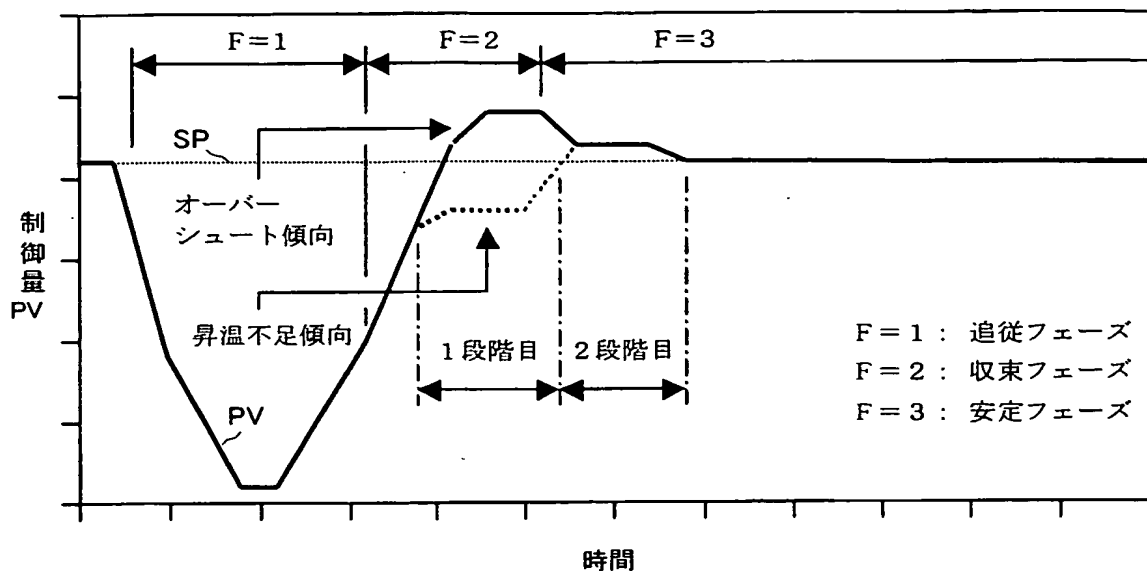
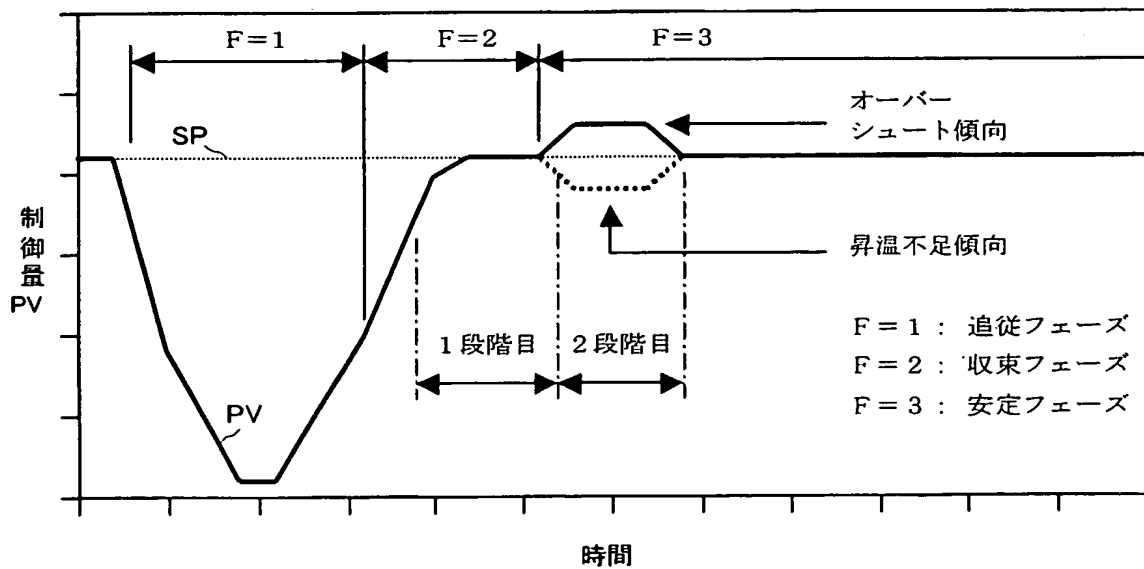


图 1 1



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

図 1 2 A

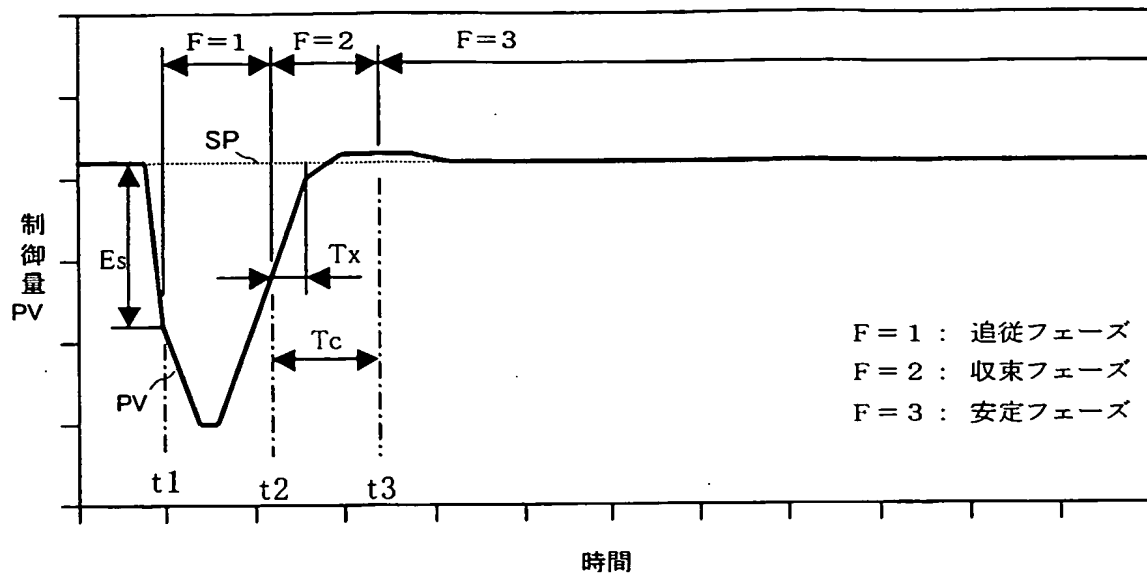
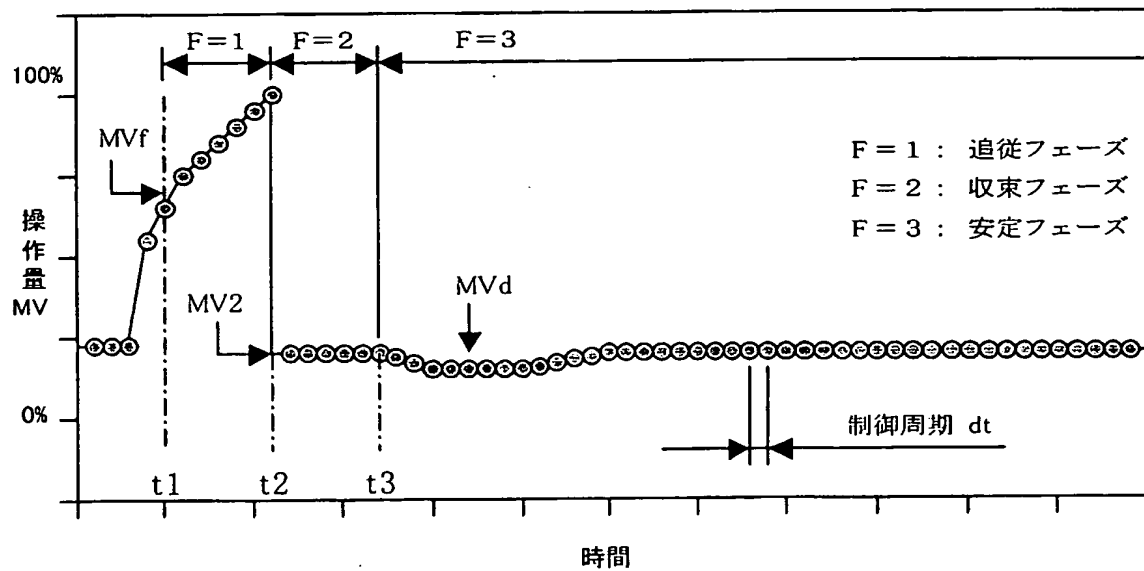


図 1 2 B



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

図 1 3 A

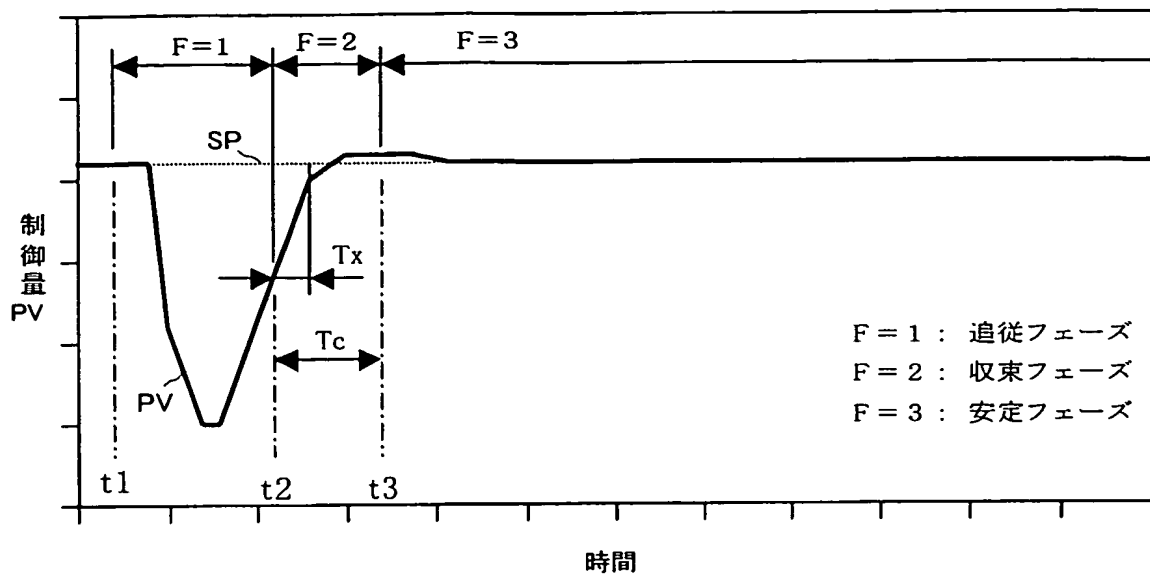
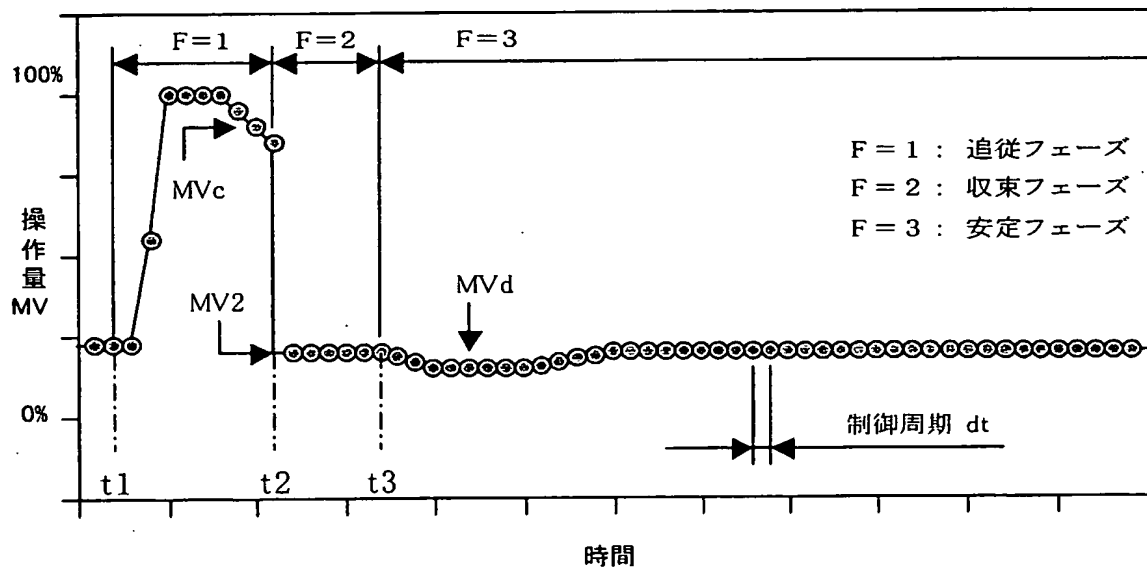


図 1 3 B



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

図 1 4

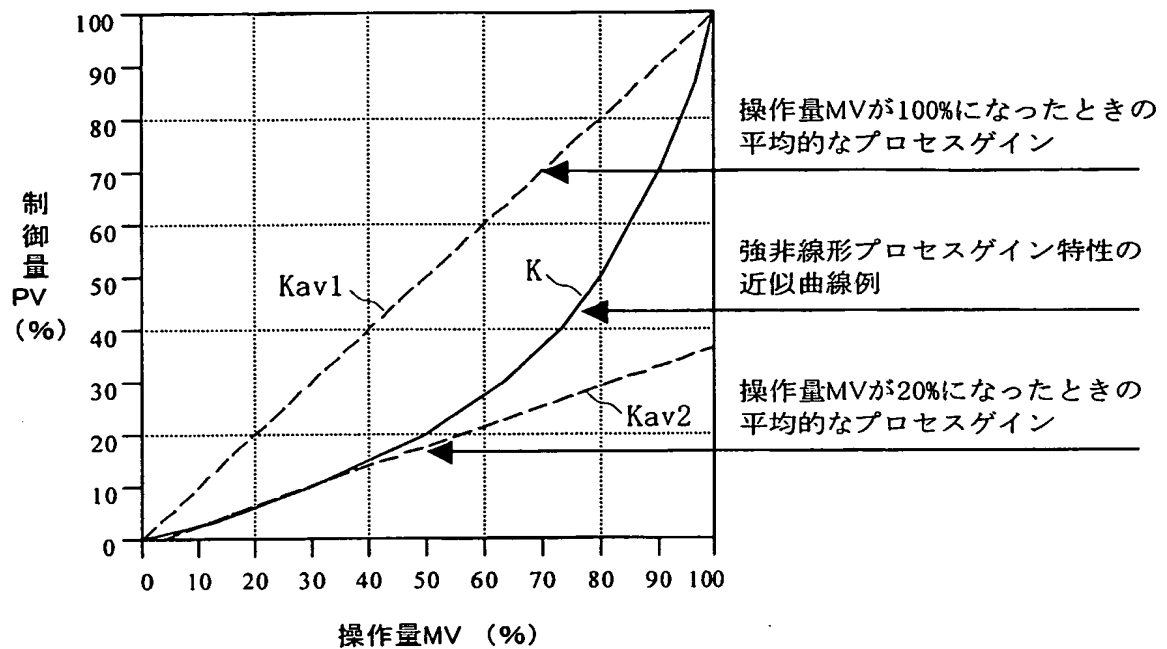
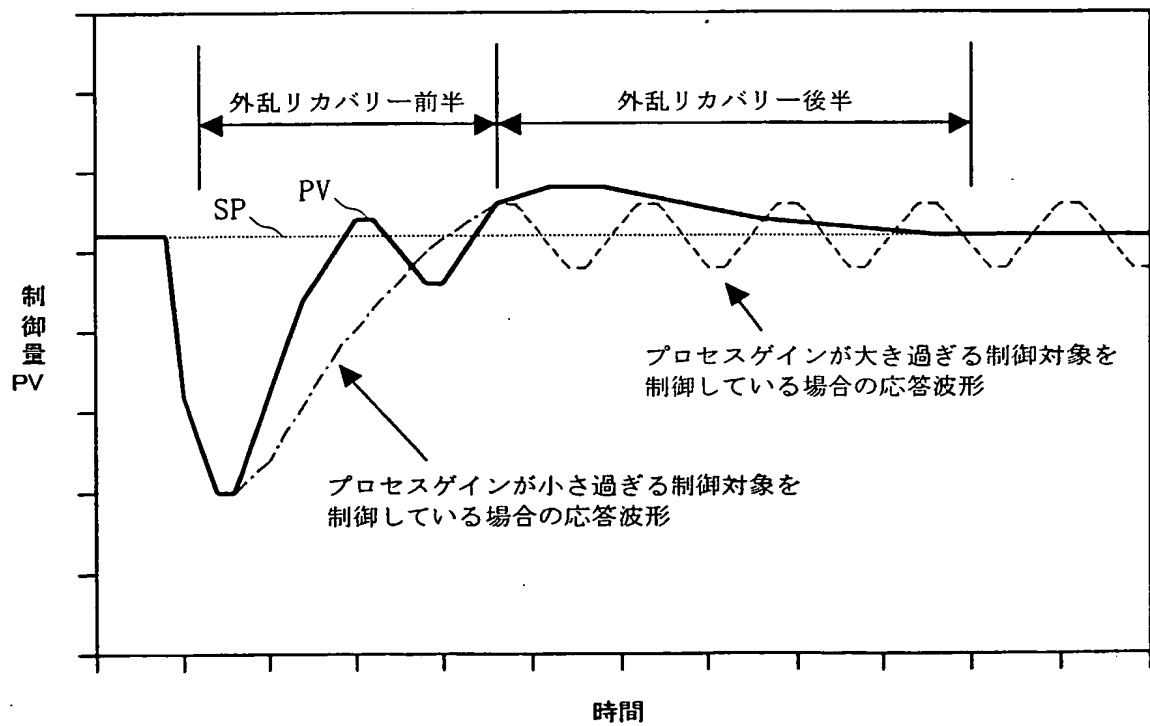


図 1 5



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



図 16 A

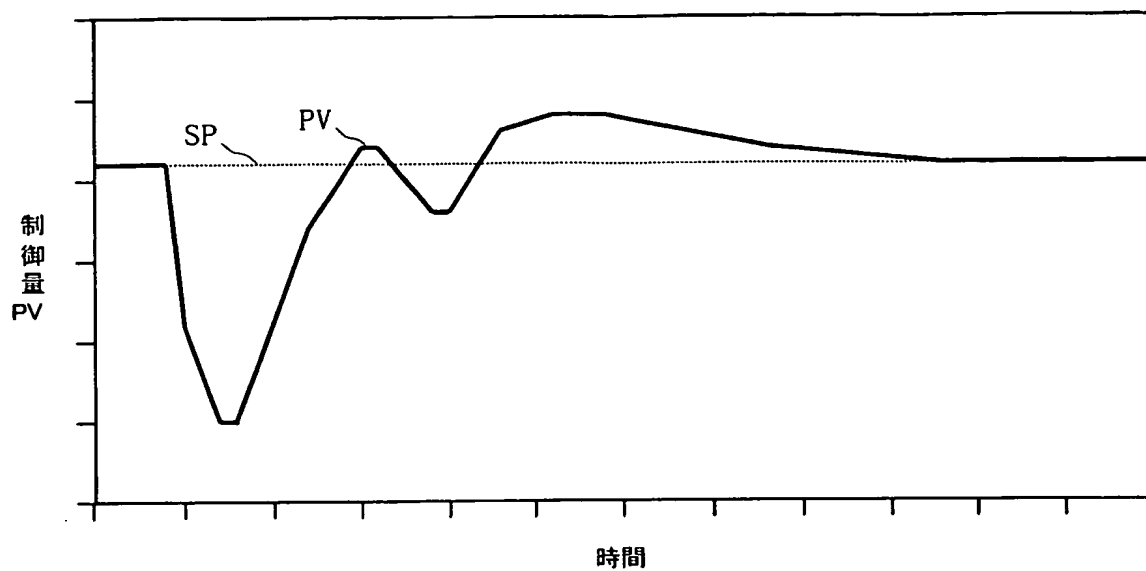
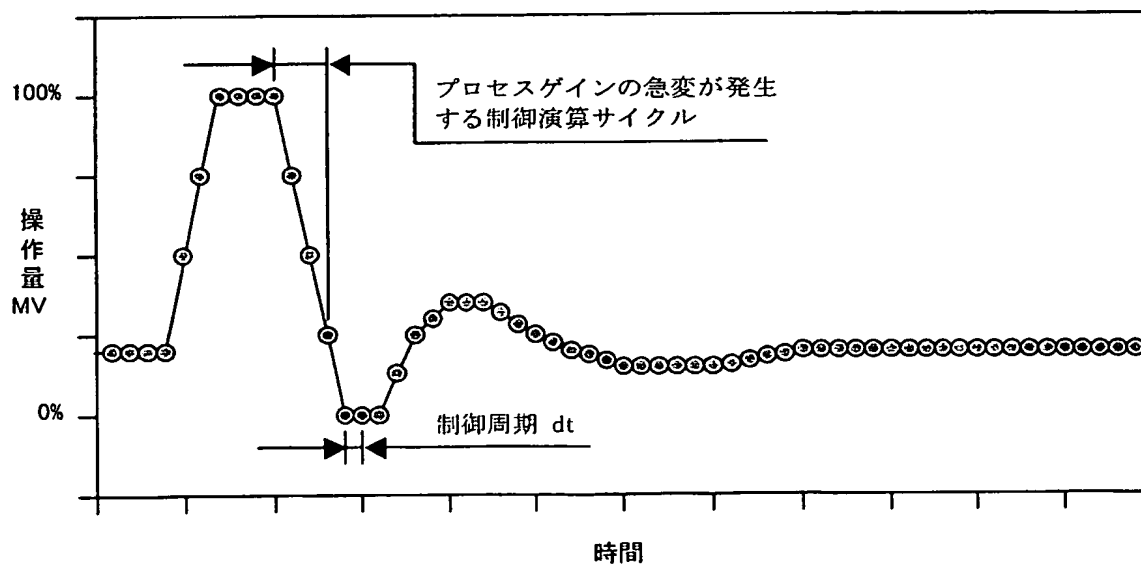


図 16 B



PAGE BLANK (USPTO)

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/04347

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
Int.Cl<sup>7</sup> G05B7/02, G05B11/36

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
Int.Cl<sup>7</sup> G05B7/02, G05B11/36

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2000-181549 A (Kokusai Electric Co., Ltd.), 30 June, 2000 (30.06.00), Par. Nos. [0030] to [0031]; Fig. 2	1, 3, 6-8, 10, 13, 14
Y		2, 5, 9, 12
A	(Family: none)	4, 11
Y	EP 1094375 A1 (Yamatake Corp.), 25 April, 2001 (25.04.01), Claim 1 & JP 2001-117603 A Claim 1	2, 9
Y	JP 61-131102 A (Toshiba Corp.), 18 June, 1986 (18.06.86), Claim 3 (Family: none)	5, 12

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search  
26 May, 2003 (26.05.03)

Date of mailing of the international search report  
10 June, 2003 (10.06.03)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/04347

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 11-224104 A (Omron Corp.), 17 August, 1999 (17.08.99), Full text (Family: none)	1-14

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. cl<sup>7</sup> G05B7/02 G05B11/36

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. cl<sup>7</sup> G05B7/02 G05B11/36

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922~1996年

日本国公開実用新案公報 1971~2003年

日本国登録実用新案公報 1994~2003年

日本国実用新案登録公報 1996~2003年

国際調査で利用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y A	JP 2000-181549 A (国際電気株式会社) 200 0.06.30, 【0030】-【0031】, 【図2】, (ファ ミリーなし)	1, 3, 6-8, 10, 13, 14 2, 5, 9, 12 4, 11
Y	EP 1094375 A1 (Yamatake Corporation) 2001. 04.25, Claims 1 & JP 2001-117603 A, 【請求項1】	2, 9

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&amp;」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

26.05.03

国際調査報告の発送日

10.06.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

梶本 直樹

3H

9819

電話番号 03-3581-1101 内線 3314

C (続き). 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	J P 61-131102 A (株式会社東芝) 1986. 06. 18, 請求項3, (ファミリーなし)	5, 12
A	J P 11-224104 A (オムロン株式会社) 1999. 0 8. 17, 全文, (ファミリーなし)	1-14